

Атлас спектров газоразрядной лампы ДВС-25 в диапазоне 320-1100 нм

***Э.Г. Силькис¹, А.С. Станкевич¹, А.В. Шоненков²**

¹Институт спектроскопии РАН,
Российская Федерация, 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5
²Объединенный институт высоких температур РАН,
Российская Федерация, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2

Адрес для переписки: Силькис Эммануил Гершович, E-mail: egssilkis@mail.ru

Поступила в редакцию 26 января 2017 г., после исправлений – 17 марта 2017 г.

Газоразрядная водородная лампа ДВС-25 используется как источник непрерывного спектра в диапазоне 190-360 нм, а также сильных атомных и молекулярных линий водорода в более длинноволновой области спектра (400-700 нм). Спектр молекулярного водорода H₂ в диапазоне 330-1100 нм имеет несколько тысяч линий, разрешаемых спектральными приборами с дисперсией 0.2-0.8 нм/мм. В указанном диапазоне лампа ДВС-25 может эффективно применяться как источник линейчатого спектра с очень высокой плотностью линий для калибровки спектральных шкал спектрографов, оснащенных фотоэлектронными кассетами на линейных приборах с зарядовой связью. В данной работе проведено измерение линейчатого спектра лампы ДВС-25 в диапазоне 330-1100 нм с помощью спектрографа PGS-2 (дисперсия 0.73 нм/мм) и фотоэлектронной кассеты на 6 линейных приборах с зарядовой связью. Для указанного диапазона составлен атлас спектров ДВС-25. Длины волн линий H и H₂, зарегистрированных в спектре ДВС-25 с соотношением сигнал/шум, превышающем 5, внесены в базу спектральных линий этого атласа. Количество идентифицированных линий в атласе составляет 2962. Плотность спектральных линий H₂ излучения ДВС-25 в диапазоне 450-1000 нм существенно выше плотности линий Fe и Ne излучения лампы ЛТ-3 с полым катодом. Большое количество линий излучения ДВС-25 позволяет откалибровать небольшую нужную область спектра в типовых мини-спектрометрах, предназначенных для измерения длины волны лазерных диодных источников, с точностью не хуже чем 0.001 нм.

Ключевые слова: прибор с зарядовой связью (ПЗС), спектрограф, атлас спектров, фотоэлектронная кассета, газоразрядная водородная лампа.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2017, vol. 21, no. 2, pp. 103-115

DOI: 10.15826/analitika.2017.21.2.003

Atlas spectrum of gas discharge DVS-25 lamp in the range of 320-1100 nm

***E.G. Silkis¹, A.S. Stankevich¹, A.V. Shonenkov²**

¹Institute of Spectroscopy, of the Russian Academy of Sciences,
Fizicheskaya ul., 5, Troitsk, Moscow; 108840, Russian Federation
²Joint Institute for High Temperatures, of the Russian Academy of Sciences,
ul. Izhorskaya, 13, structure 2, Moscow, 125412, Russian Federation

*Corresponding author: Emmanuil G. Silkis E-mail: egssilkis@mail.ru

Submitted 26 January 2017, received in revised form 17 March 2017

Gas discharge hydrogen DVS-25 lamp is frequently used as a source of continuous spectrum in the range of 190-360 nm as well as a radiator of hydrogen atomic and molecular lines in the longer-wave region of the spectrum. The striped spectrum of molecular hydrogen has several thousand of H₂ lines in the range of 330-1100 nm that can be resolved by the different spectral line devices. In the specified range, the DVS-25 lamp can be used as a source of the spectrum with a very high density of lines, and it can effectively be used for the calibration of spectral scales of spectrographs equipped with photoelectronic cassettes on

linear charge coupled devices. In our work, the spectrum measurement of the DVS-25 lamp was performed in the range of 330-1100 nm using the spectrograph PGS-2 (dispersion of 0.73 nm/mm) equipped with a photoelectronic cassette on 6 linear charge coupled devices. For the spectrum in the above specified range, an atlas of the DVS-25 spectrum was created. The wavelengths of H and H₂ lines registered in the DVS-25 spectrum with a value of s/n exceeding 5 were added to the database of spectral lines of the atlas. The number of lines in this atlas exceeds 2600. The density of H₂ lines emitted by the DVS-25 in the range of 450-1000 nm is significantly higher than the density of Fe and Ne lines in the emission of LT-3 lamp with a hollow cathode. A large number of lines in the DVS-25 emission allows very accurately calibrate a small desired area of the spectrum in typical mini-spectrometers designed to measure the wavelength of laser diode sources with a precision better than 0.001 nm.

Key words: charge-coupled devices, spectrographs, the spectrum of the atlas, photoelectron cassette, hydrogen gas discharge lamp.

Введение

Дуговые водородные спектральные лампы типа ДВС-25 [1] широко распространены в научной, лабораторной и учебной практике в качестве источника непрерывного спектра в диапазоне 190-360 нм и излучателя атомных и молекулярных линий водорода в более длинноволновой области спектра. Например, в работе [2] указано на применение этого спектрального источника для постановки физического практикума по измерению спина протона, а также приведен измеренный участок спектра ДВС-25 в диапазоне 500-650 нм на спектрографе PGS-2. Диапазон 200-350 нм лампы ДВС-25 использован в качестве источника непрерывного спектра для экспериментальной оценки «мертвых зон» (между спектрами, зарегистрированными на двух соседних линейных приборах с зарядовой связью (ПЗС)) в кассетах серии МОРС [3].

Спектры двухатомных молекул состоят из набора полос (вращательных, колебательно-вращательных и электронно-колебательно-вращательных), в свою очередь образованных близко расположенными спектральными линиями, обусловленных переходами между соответствующими энергетическими уровнями молекул. Особенность дискретных спектров водородной низкотемпературной плазмы состоит в том, что из-за большой величины вращательной постоянной отсутствует характерная для спектров «тяжелых» (относительно массы молекулы водорода) двухатомных молекул полосатая структура: он состоит из большого числа отдельных и спектрально-перекрывающихся электронно-колебательно-вращательных линий. Данные линии обладают малой спектральной шириной. Дискретный спектр испускания молекулы водорода наблюдается в широком спектральном диапазоне от 50 нм до 2870 нм [4].

Предварительный анализ линейчатого спектра излучения ДВС-25 в диапазоне 750-900 нм, полученного нами на спектрографе PGS-2, показал, что он значительно богаче спектра ранее используемой для калибровки спектральных шкал лампы с полым катодом типа ЛТ-3 (Fe-Ne). Источник излучения с богатым линейчатым спектром необходим для калибровок спектральной шкалы на перестраиваемых спектрографах с дисперсией 0.1-0.4 нм/мм

(типа ДФС-8 и ДФС-13, PGS-2 с дисперсией 0.365 и 0.1832 нм/мм и др.). Диапазон 750-1000 нм применяется в практике атомно-эмиссионного анализа, например, при определении галогенов и серы в геологических объектах с использованием дугового высокотемпературного плазмотрона [5], а диапазон 1000-1100 нм – для измерения длины волны некоторых лазерных диодов (среднее значение длины волны 1046 и 1060 нм).

Целью данной работы являлось создание атласа спектров и базы спектральных линий газоразрядной лампы ДВС-25 в диапазоне 320-1100 нм. Данный диапазон измерения линейчатого спектра был выбран потому, что в справочниках по молекулярным (H₂) линиям водорода нижняя граница начинается от 320 нм, а верхняя граница (1100 нм) связана с чувствительностью применяемых в приборах серии МОРС [3] линейных ПЗС типа TCD-1304DG (фирмы Toshiba, Япония). Электронный атлас спектров ДВС-25 в этом диапазоне создавали, в основном, для калибровки спектральной шкалы связки «спектрограф-кассета».

Установка для измерения спектра ДВС-25

Излучение лампы ДВС-25 с помощью оптической системы направляли на щель спектрографа PGS-2. Аппаратная функция спектрографа составляет ~8 мкм. Для возможности регистрации ярких и слабых спектров размер щели спектрального прибора варьировали в диапазоне 10-50 мкм. Наибольший размер щели применяли при получении спектров в диапазонах 320-360 и 980-1100 нм, где нет наложения спектральных линий, а чувствительность измерений мала. Для этих же целей изменяли длительность кадра в системе регистрации спектров.

В спектрографе PGS-2 использовали значение дисперсии 0.73 нм/мм. Такая дисперсия позволяет быстрее получить атлас спектров в нужном диапазоне. На выходе спектрографа PGS-2 применяли систему регистрации МОРС-6 (6 ПЗС), которая позволяет с небольшими мертвыми зонами между соседними ПЗС (~1 нм) регистрировать участок спектра длиной в 120 нм. При этом участок спектра, регистрируемый одним ПЗС, состав-

ляет 20-20.5 нм. Шкала калибруется по единичному участку спектра и программа представляет все 6 участков спектра в общем отображении полного спектра. Для более оптимального сбора света от ДВС-25 на щели PGS-2 использовали осветительную систему из двух объективов.

В работе применяли программное обеспечение SM2008 для атомно-эмиссионного анализа с различными возможностями для калибровки спектральной шкалы. В данной программе есть база спектральных линий на 79 элементов, включая яркие линии H в диапазоне 190-1100 нм. В базе спектральных линий программы наиболее подробными являются списки линий тех элементов, которые используют для калибровок спектральных шкал (Fe, Cu и Ne), а также «породообразующих» элементов геологических проб (Ca, Mg и Mn). База линий в программе SM2008 является пополняемой как по элементам, так и по линиям и строится на текстовых файлах линий отдельных элементов или молекул.

Библиотека линий атомарного и молекулярного водорода.

Для проведения калибровок спектров ДВС-25 в диапазоне 320-1100 нм необходимо было пополнить список спектральных линий H и ввести «предварительный» список линий H₂. На началь-

ном этапе в уточненную базу линий были введены 41 линия атомарного H из справочника Зайделя А.Н. и др. [6] в диапазоне 356.7-1093.8 нм и ~1000 линий молекулы H₂ из публикации [7] в диапазоне 340-872 нм. В фундаментальном справочнике по линиям H₂ [8] дан очень подробный список линий в диапазоне 280–28600 нм. Часть из них является расчетной, часть – экспериментально установленной. Очевидно, что не все линии H₂ и H могут быть зарегистрированы в применяемой нами экспериментальной установке из-за ее ограниченной чувствительности при интенсивности разряда лампы ДВС-25, задаваемого паспортными условиями ее электропитания. Например, нами были зарегистрированы только 5 линий H. Напомним, что стояла ограниченная задача – создание удобного для пользователя атласа спектров ДВС-25, а также создание адекватной атласу базы спектральных линий. По полученным и тщательно откалиброванным спектрам ДВС-25 была создана база зарегистрированных линий H₂. При этом мы исходили из значений длины волны конкретной линии в спектре и из данных справочника [8].

Основной результат

В диапазоне 320-1100 нм нами было зарегистрировано 2962 линий (таблица). Самая длинноволновая линия – 1075.395 нм, самая коротковолновая – 328.989 нм. В основном спектры измеряли

Таблица

Таблица спектральных линий H (отмечены звездочкой) и H₂ (нм) водородной лампы ДВС-25, излучаемых в диапазоне 320-11000 нм и зарегистрированных с помощью спектрографа ПГС-2 и системы регистрации на линейных ПЗС

Table

Spectral lines of H (marked with an asterisk) and H₂ of the DVS-25 hydrogen lamp emitted in the range of 320-11000 nm, registered by spectrograph PGS-2 and by the registration system on a linear CCD

328.989	366.525	371.470	378.417	381.351	384.880	386.993	390.262
331.370	365.566	371.600	378.730	381.459	384.932	387.064	390.327
331.422	365.796	371.731	378.927	381.533	384.972	387.091	390.579
331.475	365.865	371.919	379.097	381.648	385.001	387.159	390.589
336.824	366.525	372.190	379.140	381.819	385.127	387.235	390.748
339.004	366.591	372.209	379.447	381.929	385.383	387.412	391.004
339.484	366.885	372.648	379.659	382.169	385.450	387.486	391.260
339.517	366.883	373.068	379.713	382.309	385.593	387.727	391.401
339.615	367.339	373.211	379.752	382.494	385.634	387.864	391.619
358.542	367.364	374.116	379.792	382.916	385.779	387.953	391.697
359.991	367.439	375.188	379.882	383.102	385.868	388.205	391.797
361.290	367.680	375.262	379.903	383.110	385.988	388.414	392.441
361.632	368.196	375.660	380.005	383.241	386.071	388.622	392.597
361.746	368.229	375.759	380.161	383.349	386.111	388.739	392.728
362.005	366.525	376.074	380.218	383.586	386.150	388.784	392.791
363.268	368.431	376.300	380.303	383.644	386.320	388.899	392.839
363.332	368.730	376.874	380.674	383.761	386.347	388.930	392.982
363.511	369.015	377.025	380.749	383.931	386.409	389.070	393.069
364.684	369.979	377.150	380.797	384.056	386.429	389.753	393.361
365.009	370.006	377.432	380.903	384.146	386.549	389.813	393.519
365.246	370.189	377.558	381.156	384.245	386.708	389.933	393.661
366.306	370.211	377.701	381.218	384.584	386.800	389.988	393.897
366.413	370.458	378.202	381.274	384.623	386.916	390.201	394.108

394.427	400.873	408.450	419.211	430.342	442.781	449.369	455.740
394.483	400.967	408.524	419.402	430.388	442.878	449.532	455.839
394.611	401.074	408.775	419.430	430.583	443.151	449.667	455.861
394.710	401.276	409.164	419.567	430.628	443.438	449.710	455.885
394.943	401.325	409.282	419.821	431.172	443.456	449.758	456.114
395.015	401.431	409.411	419.879	432.736	443.498	449.810	456.222
395.059	401.658	409.544	419.979	432.793	443.764	449.852	456.373
395.113	401.778	409.597	420.097	432.965	443.821	449.955	456.426
395.150	401.841	409.663	420.243	433.028	443.942	450.005	456.554
395.282	401.890	409.744	420.509	433.262	444.140	450.160	456.812
395.519	401.924	410.174*	420.609	433.552	444.285	450.196	456.863
395.702	402.093	410.614	420.754	433.631	444.346	450.274	457.223
395.996	402.135	410.780	420.834	433.738	444.421	450.397	457.271
396.079	402.342	410.941	420.917	433.953	444.525	450.447	457.588
396.233	402.473	411.013	421.013	434.047*	444.681	450.493	457.655
396.314	402.661	411.105	421.204	434.179	444.755	450.563	457.722
396.374	402.738	411.353	421.249	434.360	444.793	450.910	457.802
396.465	402.825	411.593	421.427	435.454	444.950	451.090	457.945
396.511	403.000	411.701	421.622	436.192	444.991	451.169	457.999
396.892	403.139	411.974	421.679	436.493	445.082	451.287	458.154
396.965	403.167	412.046	421.950	436.667	445.211	451.383	458.259
397.007	403.357	412.326	422.216	436.773	445.259	451.431	458.388
397.146	403.408	412.376	422.252	437.028	445.277	451.556	458.450
397.422	403.557	412.955	422.394	437.077	445.314	451.579	458.512
397.477	403.853	413.146	422.450	437.200	445.431	451.743	458.868
397.568	404.310	413.196	422.739	437.767	445.559	451.790	459.181
397.683	404.357	413.391	422.871	437.940	445.607	451.867	459.359
397.710	404.446	413.501	423.279	438.008	445.667	451.912	459.517
397.816	404.477	413.622	423.093	438.444	445.685	451.996	459.721
397.872	404.548	413.744	423.341	438.908	445.703	452.142	459.849
397.933	404.796	413.820	423.625	439.090	445.873	452.149	460.538
397.976	404.845	413.956	423.639	439.046	445.886	452.231	460.740
398.263	404.935	414.083	423.756	439.174	445.913	452.319	461.312
398.398	405.123	414.204	424.248	439.478	445.952	452.414	461.459
398.471	405.352	414.280	424.325	439.690	446.097	452.523	461.650
398.542	405.400	414.387	424.553	439.824	446.191	452.718	461.753
398.570	405.438	414.556	424.661	439.894	446.321	452.908	461.830
398.589	405.529	415.581	425.027	440.073	446.387	453.119	462.076
398.693	405.642	414.624	425.213	440.081	446.423	453.194	462.531
399.003	405.756	415.158	425.313	440.141	446.715	453.309	462.558
399.114	405.926	415.264	425.389	440.166	446.830	453.313	462.706
399.195	406.245	415.659	425.840	440.363	447.161	453.416	462.798
399.234	406.326	415.932	425.934	440.461	447.196	453.463	462.872
399.325	406.363	416.194	426.034	441.062	447.426	453.590	462.968
399.385	406.554	416.340	426.131	441.225	447.586	453.773	463.015
399.677	406.614	416.519	426.245	441.350	447.633	453.834	463.146
399.715	406.687	416.757	426.382	441.422	447.707	453.916	463.115
399.826	406.954	416.858	426.490	441.499	447.899	454.111	463.185
399.927	407.125	417.132	426.674	441.621	448.126	454.369	463.403
400.021	407.296	417.516	426.747	441.734	448.200	454.723	463.462
400.084	407.400	417.711	426.920	441.868	448.351	454.797	463.655
400.207	407.429	417.771	427.095	441.949	448.513	454.990	463.848
400.250	407.589	417.864	427.596	441.986	448.551	455.098	463.988
400.300	407.767	417.960	427.704	442.030	448.608	455.172	464.049
400.380	407.884	418.011	427.886	442.266	448.781	455.263	464.266
400.549	408.148	418.217	428.022	442.325	448.925	455.416	464.534
400.612	408.238	418.822	429.423	442.526	449.045	455.548	464.857
400.734	408.397	418.946	429.543	442.601	449.172	455.713	464.951

465.048	474.211	484.171	492.837	501.507	512.603	520.303	530.904
465.300	474.278	484.239	492.871	501.650	512.745	520.432	531.316
465.406	474.338	484.324	492.879	501.713	512.790	520.507	531.360
465.454	475.158	484.375	493.226	502.074	512.884	520.552	531.789
465.786	475.611	484.548	493.352	502.495	512.984	521.317	531.916
465.879	475.695	484.811	493.383	502.770	513.202	521.462	532.044
465.929	475.744	484.930	493.425	502.884	513.300	521.561	532.150
466.040	475.845	484.953	493.456	503.036	513.412	522.115	532.236
466.140	476.014	484.985	493.524	503.215	513.577	522.150	532.676
466.281	476.226	485.655	493.641	503.856	513.711	522.285	532.729
466.559	476.377	485.875	493.671	503.982	514.141	522.440	532.904
466.074	476.726	486.011	493.593	504.162	514.205	522.484	532.964
466.621	476.795	486.081	493.732	504.773	514.357	522.677	533.126
466.708	476.953	486.133*	493.778	504.800	514.634	522.964	533.214
466.780	477.061	486.173	493.916	504.934	514.776	522.972	533.426
466.928	477.090	486.364	493.960	505.509	515.018	523.175	533.528
467.003	477.427	486.631	494.000	505.629	515.157	523.602	533.658
467.065	477.456	486.703	494.255	506.039	515.341	523.901	533.940
467.130	477.556	486.736	494.484	506.173	515.387	524.076	534.083
467.310	477.587	486.945	494.954	506.388	515.449	524.243	534.316
467.453	477.745	487.146	495.259	506.748	515.520	524.372	534.424
467.496	478.096	487.302	495.317	506.812	515.633	524.464	535.591
467.531	478.245	487.332	495.499	506.967	515.685	524.586	535.730
467.692	478.287	487.429	495.551	507.029	515.816	524.761	535.828
467.909	478.343	487.477	495.576	507.231	515.837	525.018	535.872
468.043	478.478	487.596	495.679	507.262	515.984	525.258	535.942
468.136	478.510	487.683	495.884	507.544	516.472	525.661	536.158
468.234	478.620	487.813	496.095	507.614	516.525	525.850	536.284
468.382	478.942	487.848	496.509	507.875	516.741	525.988	536.590
468.465	479.087	488.152	496.691	508.049	516.824	526.118	536.831
468.614	479.255	488.278	496.922	508.096	516.961	526.308	536.882
468.677	479.391	488.376	497.331	508.143	517.036	526.429	536.938
468.844	479.516	488.496	497.624	508.193	517.092	526.468	537.190
469.018	479.705	488.640	497.663	508.277	517.134	526.605	537.244
469.204	479.776	488.690	497.717	508.484	517.255	526.703	537.309
469.732	479.874	488.847	497.826	508.544	517.279	526.825	537.652
470.172	479.914	489.127	497.912	509.022	517.341	526.888	537.839
470.256	480.199	489.195	498.048	509.229	517.470	527.041	538.173
470.526	480.731	489.647	498.320	509.256	517.525	527.230	538.551
470.846	480.817	489.811	498.354	509.470	517.582	527.302	538.619
470.914	480.878	489.884	498.831	509.631	517.677	527.382	538.806
470.954	481.043	490.089	499.015	509.975	517.849	527.630	539.114
471.107	481.078	490.138	499.413	510.041	518.058	527.711	539.229
471.393	481.118	490.187	499.523	510.329	518.511	527.779	539.364
471.599	481.161	490.357	499.647	510.357	518.653	527.813	539.479
471.904	481.191	490.634	499.685	510.526	518.742	528.230	539.897
472.101	481.274	490.678	499.794	510.679	518.828	528.329	539.982
472.154	481.360	490.806	500.022	510.764	519.039	528.450	540.104
472.304	481.751	490.878	500.339	510.837	519.102	528.911	540.206
472.386	482.457	491.231	500.797	510.931	519.301	528.947	540.397
472.482	483.062	491.502	500.381	511.313	519.556	529.037	540.475
472.605	482.309	491.913	500.866	511.531	519.638	529.159	540.533
472.893	483.156	492.033	500.935	511.691	519.721	529.609	540.700
473.077	483.272	492.125	500.975	511.739	519.759	529.971	540.879
473.194	483.338	492.202	501.243	511.896	519.859	530.211	540.969
473.274	483.690	492.402	501.119	512.012	519.934	530.311	541.022
473.524	483.824	492.523	501.304	512.097	519.971	530.442	541.594
474.096	484.149	492.628	501.447	512.258	520.201	530.057	541.780

541.864	552.088	560.042	567.093	575.287	583.102	590.905	598.762
541.990	552.183	560.170	567.276	575.356	583.150	590.940	598.865
542.153	552.219	560.273	567.408	575.418	583.277	591.017	598.922
542.213	552.270	560.406	567.499	575.464	583.307	591.081	599.053
542.331	552.374	560.436	567.617	575.569	583.583	591.174	599.127
542.520	552.395	560.469	567.902	575.655	583.612	591.303	599.178
542.598	552.536	561.189	568.251	575.735	583.680	591.494	599.213
542.895	552.631	561.256	568.308	575.956	583.708	591.556	599.407
542.988	552.712	561.344	568.374	576.039	583.741	591.607	599.781
543.087	552.735	561.623	568.413	576.118	583.778	591.651	599.810
543.482	552.783	561.675	568.624	576.272	583.856	591.740	599.876
543.878	552.981	561.690	568.691	576.402	583.906	591.808	599.914
543.957	553.405	561.751	568.746	576.448	583.960	591.954	599.959
544.019	553.598	561.828	568.918	576.590	583.991	592.049	600.150
544.255	553.729	562.091	569.116	576.630	584.043	592.200	600.281
544.668	553.747	562.260	569.247	576.699	584.145	592.483	600.492
544.751	554.092	562.308	569.460	576.825	584.258	592.578	600.641
544.972	554.311	562.431	569.531	577.249	584.345	592.814	600.683
544.987	554.350	562.672	569.618	577.322	584.474	593.065	600.720
545.210	554.450	562.744	569.743	577.458	584.728	593.136	600.879
545.253	554.476	562.980	569.801	577.505	584.932	593.204	601.045
545.450	554.766	563.062	569.920	577.898	585.088	593.230	601.140
545.532	555.252	563.099	570.064	578.006	585.164	593.603	601.210
545.698	555.510	563.219	570.325	578.073	585.711	593.792	601.256
545.960	555.893	563.235	570.376	578.243	585.980	593.862	601.485
545.998	556.005	563.416	570.865	578.301	586.064	593.944	601.830
546.141	556.144	563.444	570.977	578.441	586.118	594.115	602.125
546.299	556.174	563.481	571.215	578.521	586.159	594.153	602.375
546.519	556.224	563.557	571.314	578.577	586.446	594.198	602.578
546.646	556.301	564.272	571.345	578.756	586.666	594.294	602.798
547.158	556.451	564.294	571.456	578.826	586.823	594.356	603.007
547.331	556.558	564.610	571.601	578.994	586.926	594.730	603.147
547.486	556.575	564.745	571.827	579.170	586.969	594.801	603.191
547.895	556.618	564.884	571.870	579.264	587.008	594.990	603.503
548.352	556.709	565.071	572.345	579.461	587.162	595.623	603.594
548.108	556.943	565.218	572.460	579.547	587.195	595.652	603.646
548.400	556.954	565.256	572.587	579.599	587.259	595.723	603.686
548.571	557.243	565.485	572.705	579.660	587.605	595.962	604.008
548.663	557.392	565.575	572.855	579.723	587.853	595.981	604.103
548.729	557.451	565.729	572.922	579.896	587.920	596.347	604.272
548.828	557.871	565.779	573.025	580.116	588.023	596.727	604.361
548.948	557.936	565.610	573.192	580.187	588.337	596.755	604.464
549.125	558.075	565.839	573.326	580.393	588.394	596.932	604.537
549.298	558.106	565.882	573.365	580.468	588.463	596.968	604.697
549.596	558.305	565.944	573.447	580.614	588.555	597.031	604.725
549.655	558.330	566.080	573.513	580.773	588.734	597.093	604.785
549.727	558.547	566.163	573.610	580.835	588.816	597.203	604.934
549.922	559.009	566.183	573.687	581.150	588.900	597.342	604.961
549.958	559.096	566.244	573.843	581.260	588.998	597.414	605.237
550.038	559.142	566.287	574.009	581.494	589.134	597.462	605.327
550.551	559.419	566.344	574.112	581.524	589.409	597.538	605.477
550.634	559.440	566.642	574.140	581.644	589.591	597.804	605.527
550.785	559.506	566.735	574.184	581.711	589.774	597.911	605.609
551.087	559.705	566.780	574.307	581.760	590.048	597.961	605.832
551.298	559.765	566.933	574.393	581.928	590.120	598.087	606.328
551.391	559.834	568.209	574.537	582.207	590.349	598.256	606.480
551.802	559.883	568.548	574.900	582.281	590.500	598.434	606.545
551.845	559.959	567.028	575.113	582.458	590.829	598.729	606.663

606.772	616.416	626.013	636.462	651.770	664.640	676.843	686.015
606.831	616.774	626.089	637.221	652.236	664.690	677.145	686.126
606.997	616.964	626.250	637.607	652.736	664.741	677.066	686.406
607.157	617.011	626.485	637.742	654.063	664.938	677.237	696.457
607.200	617.077	626.797	637.921	654.275	665.749	677.409	686.633
607.439	617.409	627.054	638.011	654.511	665.949	677.553	686.797
607.801	617.488	627.131	638.130	654.640	666.144	677.718	686.840
607.890	617.546	627.484	638.180	654.692	666.634	677.824	687.081
608.078	617.623	627.616	638.290	655.099	667.124	678.077	687.281
608.343	617.763	627.710	638.791	655.295	667.217	678.185	687.489
608.426	617.853	627.837	638.798	655.322	667.442	678.577	687.527
608.470	617.916	627.989	639.107	655.404	667.541	678.840	687.695
608.520	618.046	628.226	639.209	655.913	667.796	678.967	687.745
608.981	618.153	628.237	639.283	656.106	668.045	679.091	687.791
609.037	618.227	628.332	639.302	656.174	668.241	679.230	687.845
609.091	618.299	628.538	639.324	656.273'	668.558	679.408	688.071
609.212	618.653	628.701	639.425	656.285'	668.796	679.634	688.482
609.384	618.800	628.971	639.517	656.705	669.098	679.737	688.590
609.596	618.887	629.184	639.655	656.996	669.231	679.853	688.703
609.824	619.033	629.662	639.745	657.065	669.304	680.048	689.060
609.990	619.381	629.861	639.846	657.204	669.487	680.237	689.107
610.020	619.711	629.942	639.947	657.300	669.676	680.513	689.170
610.078	619.772	630.227	640.401	657.399	669.893	680.538	689.416
610.209	619.940	630.349	640.578	657.932	669.979	680.644	689.664
610.538	620.119	630.411	640.922	658.033	670.188	680.783	689.878
610.783	620.176	630.610	641.179	658.157	670.505	680.917	689.932
610.947	620.299	631.070	641.829	658.536	670.675	681.066	689.987
611.109	620.379	631.121	641.891	658.581	670.760	681.237	690.031
611.212	620.504	631.440	642.812	658.893	670.883	681.425	690.104
611.278	620.525	631.494	642.931	658.928	671.265	681.522	690.234
611.672	620.572	631.637	643.349	659.523	671.365	681.577	690.303
611.775	620.732	631.723	643.484	659.577	671.467	681.770	690.594
611.899	620.815	631.863	643.782	659.683	671.528	681.842	690.660
612.120	620.906	632.038	644.150	659.971	671.627	681.994	690.788
612.179	620.982	632.267	645.211	659.974	671.659	682.034	690.923
612.724	621.218	632.285	645.501	660.130	671.777	682.104	690.967
612.765	621.451	632.384	645.611	660.207	671.984	682.217	691.187
613.036	621.579	632.627	645.616	660.936	672.132	682.308	691.587
613.182	621.939	632.706	646.231	661.467	672.471	682.416	691.646
613.431	622.081	632.981	646.525	661.753	672.545	682.452	692.032
613.540	622.175	633.050	646.310	661.979	672.644	682.576	692.153
613.649	622.482	633.247	646.407	662.084	672.865	682.831	692.919
613.789	622.770	633.554	646.668	662.259	672.753	683.077	693.223
613.935	622.816	633.704	646.836	662.384	673.048	683.214	693.593
614.096	622.926	634.008	647.242	662.551	673.350	683.338	694.042
614.179	623.026	634.057	647.364	662.841	673.474	683.436	694.402
614.406	623.301	634.546	647.518	662.900	673.773	683.685	694.906
614.512	623.592	634.693	648.091	663.038	673.827	683.925	695.289
614.619	623.746	634.776	648.598	663.102	674.246	684.087	695.373
614.690	623.839	634.989	648.777	663.249	674.884	684.270	695.537
614.809	624.118	635.128	648.925	663.387	675.045	684.406	696.130
614.853	624.655	635.374	649.578	663.628	675.286	684.869	696.234
615.147	624.695	635.614	649.798	663.671	675.510	685.163	696.966
615.317	624.915	637.009	649.816	663.781	675.626	685.235	697.340
615.563	625.515	637.507	649.879	663.967	675.754	685.338	697.549
615.957	625.666	637.823	649.984	664.041	676.047	685.358	697.791
616.160	625.758	645.495	650.009	664.282	676.510	685.439	698.763
616.247	625.865	636.248	650.204	664.325	676.579	685.900	698.872

699.061	712.394	722.515	731.286	740.057	748.825	758.742	769.944
699.199	712.481	722.788	731.362	740.114	748.942	759.215	770.320
699.398	712.683	723.066	731.602	740.238	749.117	759.360	770.503
699.609	712.852	723.106	731.691	740.416	749.254	759.448	770.755
699.851	712.947	723.350	731.805	740.527	749.327	759.584	770.631
699.950	712.990	724.014	731.959	740.605	749.441	759.706	770.939
700.207	713.010	724.057	732.226	740.799	749.622	759.804	771.407
700.415	713.342	724.149	732.717	741.094	749.789	760.156	771.668
701.076	713.484	724.349	732.812	741.184	750.248	760.256	771.785
701.270	713.721	724.411	733.164	741.406	750.479	760.343	771.911
701.783	713.752	724.472	733.348	741.712	750.695	760.488	772.084
701.837	713.814	724.970	733.624	742.122	750.785	760.636	772.176
702.176	713.934	725.090	733.718	742.167	751.010	760.749	772.321
702.234	713.968	725.247	733.803	742.280	751.088	760.994	772.445
702.382	714.210	725.329	733.997	742.838	751.231	761.386	772.643
702.691	714.388	725.402	734.027	743.038	751.311	761.811	772.917
702.761	714.521	725.716	734.109	743.138	751.414	762.032	773.059
703.068	715.147	725.833	734.172	743.268	751.670	762.091	773.274
703.144	715.228	725.905	734.466	743.365	751.760	762.267	773.332
703.482	715.345	725.989	734.863	743.863	751.828	762.238	773.733
703.512	715.571	726.099	734.880	743.411	752.030	762.353	773.937
703.561	715.623	726.160	735.000	743.505	752.117	762.619	774.003
703.671	715.904	726.231	735.070	744.074	752.218	763.147	774.123
703.919	716.031	726.384	735.404	744.391	752.467	763.708	774.200
704.070	716.219	726.663	735.436	744.551	752.601	764.174	774.371
704.485	716.647	726.716	735.519	744.711	752.758	764.340	774.534
704.601	716.728	726.910	735.591	744.768	752.853	764.370	774.574
704.960	716.882	726.996	735.680	744.914	753.161	764.503	774.864
705.273	716.995	727.128	735.759	745.009	753.486	764.788	775.213
705.319	717.306	727.203	736.034	745.091	753.690	765.075	775.317
705.590	717.440	727.333	736.134	745.275	753.722	765.174	775.407
706.122	717.628	727.432	736.172	745.404	753.832	765.449	775.511
706.307	717.952	727.553	736.398	745.571	754.030	765.931	775.671
707.415	718.295	727.660	736.534	745.828	754.079	766.029	775.717
707.513	718.404	727.790	736.628	745.945	754.195	766.077	776.022
707.562	718.652	727.864	736.697	746.084	754.268	766.146	776.430
708.119	718.773	728.007	736.809	746.217	754.378	766.256	776.511
708.411	718.857	728.099	736.867	746.342	754.499	766.356	776.549
709.064	719.006	728.135	736.892	746.458	754.865	766.540	776.678
709.162	719.489	728.390	736.992	746.521	755.339	766.744	776.835
709.334	719.566	728.558	737.164	746.619	755.560	766.817	776.910
709.510	719.770	728.631	737.285	746.686	755.615	766.915	777.253
709.740	719.804	728.750	737.350	746.745	755.864	766.976	777.427
709.554	720.051	728.894	737.487	746.818	755.958	767.244	777.736
709.797	720.137	729.067	737.515	746.872	756.128	767.300	777.865
709.870	720.183	729.157	737.873	746.916	756.319	767.353	777.951
709.941	720.331	729.460	738.423	747.074	756.486	767.395	777.977
710.386	720.406	729.542	738.446	747.171	756.531	767.458	778.052
710.428	720.534	730.006	738.640	747.451	756.711	767.979	778.410
710.584	720.673	730.148	738.979	747.804	756.936	768.222	778.978
710.700	720.996	730.216	738.999	747.845	757.160	768.370	779.254
710.806	721.022	730.364	739.192	747.900	757.257	768.553	779.367
711.131	721.213	730.489	739.411	748.015	757.477	769.037	779.675
711.265	721.488	730.695	739.504	748.069	757.642	769.211	779.910
711.432	721.729	730.772	739.608	748.174	757.944	769.277	780.100
711.680	721.822	730.956	739.697	748.468	758.293	769.480	780.281
711.717	722.251	731.030	739.819	748.592	758.441	769.825	780.399
712.143	722.421	731.107	739.926	748.770	758.504	769.900	780.445

780.575	800.079	815.912	839.946	865.723	889.676	920.187	959.857
780.728	800.699	815.975	840.990	866.391	889.730	920.335	957.119
780.925	800.798	816.282	841.780	867.082	889.807	920.631	957.456
781.242	801.335	816.377	841.998	868.522	889.880	921.264	958.674
781.347	801.876	816.471	842.467	868.878	890.201	921.952	959.941
782.254	801.936	817.042	842.364	869.384	890.384	922.472	961.322
782.501	802.297	817.546	844.358	869.905	890.511	924.321	963.018
782.969	802.312	818.005	844.465	870.213	890.714	924.562	964.279
783.017	802.790	818.056	844.577	870.770	890.829	924.933	965.720
783.415	803.205	818.202	845.693	870.884	891.246	925.283	966.938
783.695	803.661	818.512	845.764	871.509	892.317	925.423	967.349
783.815	803.987	818.786	844.787	871.768	892.881	925.555	967.915
784.075	804.216	819.025	844.889	872.418	893.088	925.995	968.856
784.595	804.737	819.106	845.194	872.500	893.959	926.682	969.311
784.805	805.050	820.349	845.881	872.949	894.015	926.893	969.400
785.351	805.455	820.679	846.359	873.223	894.619	927.064	969.678
785.665	805.624	821.330	846.515	873.293	894.798	927.163	971.521
785.910	805.893	821.908	846.617	873.610	895.959	927.380	971.726
786.285	805.983	822.020	846.715	873.933	896.714	927.502	974.370
786.414	806.601	822.290	847.009	874.014	896.904	927.718	976.152
787.365	807.126	823.365	847.871	874.214	897.889	928.383	976.554
787.545	807.706	823.578	848.460	874.704	898.516	928.837	979.239
788.695	808.477	823.760	848.608	874.787	898.951	928.928	980.348
789.590	808.644	823.877	849.616	874.840	900.327	929.245	980.847
790.030	808.738	824.075	850.929	875.061	900.373	929.987	980.969
790.054	808.880	824.293	851.229	876.516	900.498	930.128	982.566
790.272	809.102	824.689	851.690	876.752	901.624	931.466	982.895
790.360	809.168	825.403	852.037	877.051	901.756	931.718	982.716
790.418	809.485	826.290	852.225	877.533	902.233	931.867	983.907
791.313	809.693	826.397	852.295	877.710	903.173	933.161	984.096
792.270	810.023	826.526	852.388	877.861	903.550	933.864	985.615
792.348	810.430	827.328	852.635	878.037	904.358	934.599	986.999
793.144	810.853	827.424	852.811	878.480	905.586	936.315	988.219
793.320	811.008	830.372	853.360	878.958	906.832	936.424	991.070
793.591	811.064	831.745	853.570	879.021	908.079	938.296	993.403
793.739	811.291	831.973	854.170	879.492	908.297	938.992	994.163
794.095	811.505	832.392	854.627	879.580	908.486	939.102	998.002
794.251	811.621	832.719	855.221	879.634	908.840	939.341	999.055
794.295	811.656	833.042	855.407	879.682	909.606	940.387	1001.744
795.040	811.841	833.478	855.581	879.965	910.436	941.119	1004.046
795.348	811.942	833.805	855.846	880.483	911.570	942.985	1004.938
795.704	812.102	834.954	855.992	880.774	911.882	943.243	1011.521
795.855	812.357	835.030	856.067	881.685	911.944	944.489	1019.188
796.055	812.497	835.109	856.165	882.203	911.987	945.120	1023.798
796.348	812.609	835.425	856.736	883.172	912.896	947.369	1026.137
796.744	812.729	835.536	857.492	884.112	913.070	947.641	1038.197
796.878	812.915	835.731	858.402	884.628	913.284	948.684	1049.168
797.022	813.048	835.903	858.526	886.608	913.645	950.670	1051.022
798.028	813.077	836.016	859.109	886.804	915.852	951.177	1060.879
798.128	813.375	836.417	859.239	887.201	916.083	951.388	1072.558
798.196	813.422	836.689	859.470	887.533	916.364	951.562	1072.897
798.365	813.926	837.175	860.004	887.662	917.207	952.544	1075.395
798.426	814.259	837.538	860.600	887.608	917.336	952.952	
798.589	814.414	837.912	862.376	887.771	917.930	954.884	
798.659	814.762	838.116	862.515	887.860	918.058	955.365	
798.754	814.810	838.694	862.903	888.207	918.538	956.156	
799.164	815.302	839.113	863.339	888.434	919.028	956.247	
799.720	815.788	839.828	863.660	888.619	919.960	956.737	

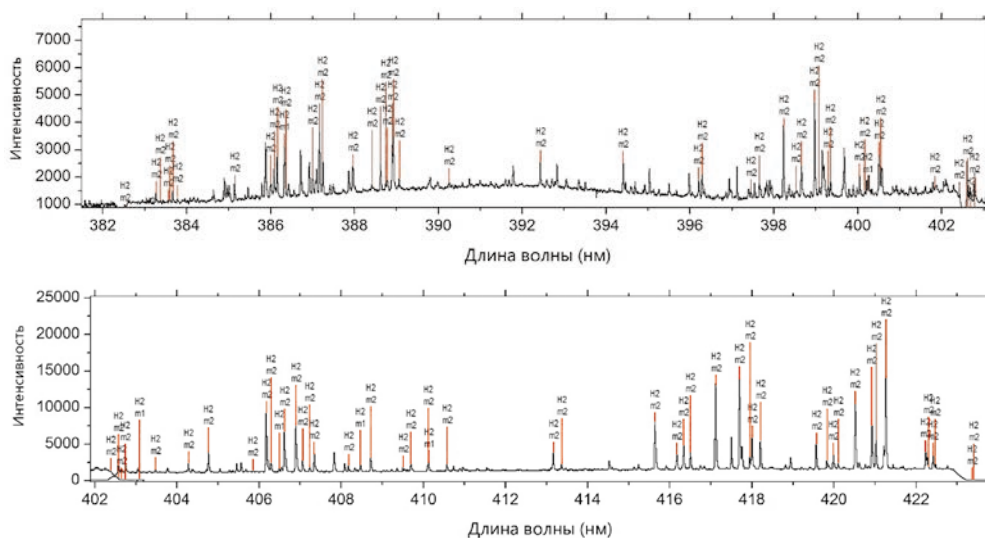


Рис. 1. Участки спектра ДВС-25 в диапазоне: а – 382-403 нм, б – 402-423 нм

Fig. 1. DVS-25 spectrum region in the range of: а – 382-403 nm, б – 402-423 nm

при экспозиции 10-20 с, а в диапазонах 320-360 и 1000-1080 нм – при экспозиции 100 с. В базу линий H и H_2 вошли линии с соотношением сигнал/шум (с/ш) более 5. Список этих линий приведен в таблице. Типовые участки спектра, регистрируемые на одном из ПЗС МОРС-6 представлены на рис. 1. На рис. 2 показано соотношение плотностей линий газоразрядных ламп ДВС-25 (H_2 и H) и ЛТ-3 ($Fe-Ne$).

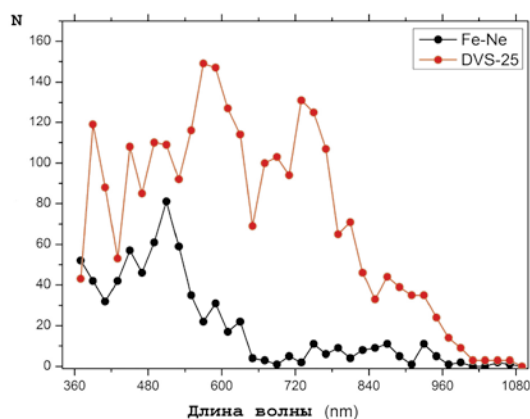
Рис. 2. Количество спектральных линий N источника света для различных длин волн (черный – ЛПК Fe-Ne, красный – ДВС-25). Одна точка соответствует диапазону 20 нм

Fig. 2. The number of spectral lines N of the light source for the different wavelengths (black – LPK Fe-Ne, red – DVC-25). One point corresponds to the range of 20 nm

Способы калибровки и составление базы линий

На первом этапе калибровки шкал спектров ДВС-25 применены базы спектральных линий H и H_2 (диапазон 339.484-872.418 нм) и атлас спектров лампы ЛТ-3 ($Fe-Ne$), т.е. использовали ранее откалиброванные шкалы в диапазоне 339-872 нм. По-

сле перекалибровки спектров по линиям H и H_2 в данном диапазоне базу пополняли слабыми линиями H_2 . В спектральном диапазоне выше 872 нм базу линий H_2 пополняли постепенно, по мере калибровки новых участков спектра, способом «сдвига шкалы», а также при помощи атласа спектров PGS-2 по линиям Fe , Ne , Ag и Hg . Способ «сдвига шкалы» заключается в следующем: с помощью лимба поворота решетки новый калибруемый участок спектра на одном из ПЗС системы регистрации устанавливали так, чтобы он имел на коротковолновой половине спектра известные линии H и H_2 , на другой половине спектра – не внесенные в базу линии H_2 . Калибруя более коротковолновый участок спектра ДВС-25 по известным линиям H и H_2 (при практически одинаковом значении дисперсии спектрографа PGS-2 на полном участке спектра одного ПЗС), мы получаем во второй части спектра близкую к правильной спектральную шкалу. Над спектральными линиями второй части спектра нет меток линий H_2 , поскольку их еще нет в базе данных программы. Далее, с помощью справочника [8] мы, наметив 3-4 яркие линии во второй половине спектра, для каждой из этих линий выбираем близкую длину волны, вносим ее в базу линий H_2 и процедурой калибровки полной шкалы этого ПЗС уточняем значение длины волны (по справочнику [8]) для выбранной группы ярких линий. Следует отметить, что в диапазоне 872-1000 нм, согласно справочным данным, есть всего 5 линий H , но они не были зарегистрированы нами с применяемым спектрометром, поэтому велось только уточнение линий H_2 . Методика калибровки от 872 нм и пополнение базы линий иллюстрируют рис. 3 и 4. Далее в базу вносили значения всех линий на данном участке, с/ш которых более 5 (рис. 4). Таким образом осуществляли тщательную калибровку шкалы спектров ДВС-25 до дли-

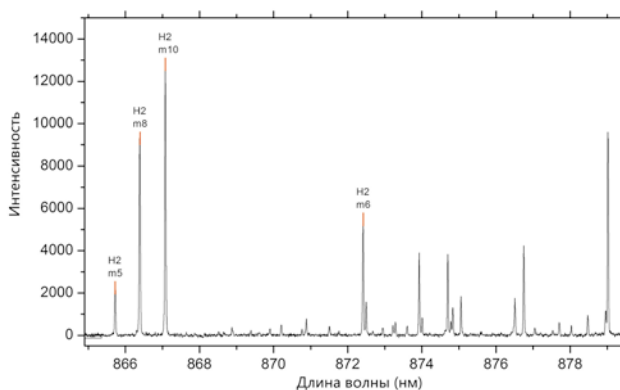


Рис. 3. Участок спектра ДВС-25 в диапазоне 864-880 нм с частично внесенными линиями в базу данных H и H₂

Fig. 3. DVS-25 spectrum region in the range of 864-880 nm with partially introduced lines into the database of H and H₂

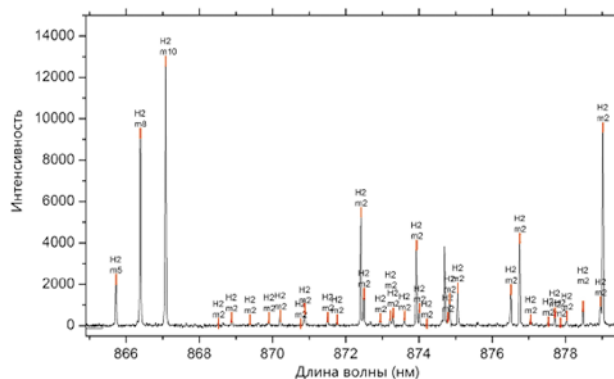


Рис. 4. Участок спектра ДВС-25 в диапазоне 864-880 нм с полной базой линий H и H₂

Fig. 4. DVS-25 spectrum region in the range of 864-880 nm with a full base of lines in the database of H and H₂

ны волны 1080 нм и постепенное пополнение базы спектральных линий H₂.

Для присвоения значения длины волны неизвестной линии спектра из данных справочника [8] мы искали значение длины волны с точностью ~0.05 нм. При этом в диапазоне 0.1 нм может быть несколько спектральных линий, причем некоторые из которых являются расчетными. Если значение длины волны «новой» линии внесено в базу линий неверно, начинает искажаться калибровка шкалы, что определяется по смещению меток других линий относительно «пиков» линий на данном участке спектра. В таких случаях проводили уточнение калибровки на участке спектра вблизи «неизвестной» линии по близким линиям (реперные линии в подпрограмме калибровки шкалы), значения длин волн которых не искажают калибровку. Программа ведет калибровку по центрам тяжести этих линий (т.е. центру тяжести линии присваивается длина волны линии, выбранной в качестве реперной). Программа определяет центр тяжести «неизвестной» линии с точностью до третьего знака после запятой (в

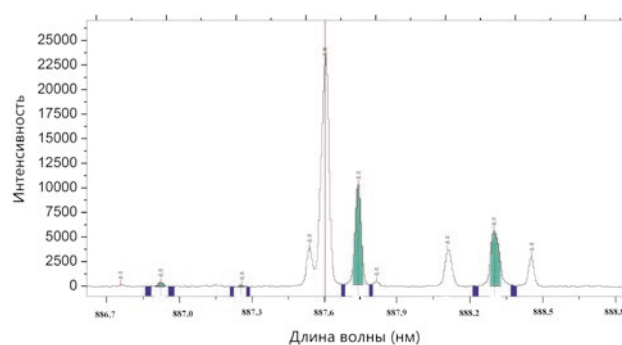


Рис. 5. Участок спектра ДВС-25 в диапазоне 886.5-889 нм. Расчет центра тяжести линии, на которой стоит курсор

Fig. 5. DVS-25 spectrum region in the range of 886.5-889 nm. The calculation of the peak gravity center is for the line on which the cursor is positioned

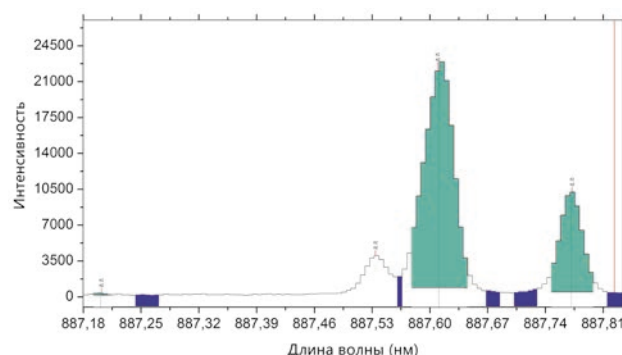


Рис. 6. Участок спектра ДВС-25 в диапазоне 887.18-887.81 нм. Центр тяжести исследуемой линии составляет 887.61 нм

Fig. 6. DVS-25 spectrum region in the range of 887.18-887.81 nm. The gravity center of the tested line is 887.61 nm

нм). Для полученного значения длины волны центра тяжести определяемой линии из справочника [8] выбирается наиболее близкая линия. Эта методика калибровки описана и применялась в [9]. В диапазоне 320-339 нм регистрируются только слабые линии H₂ на фоне непрерывного спектра. Внесение в базу данных спектральных линий H₂ начинаются от откалиброванного участка с линиями H и H₂ от 339 нм в коротковолновую часть спектра (до длины волны 320 нм) описанным выше способом.

Очевидно, что проблемы могут возникать тогда, когда мы должны присвоить длину волны такой линии спектра, в которой совпадают две или более неразрешимых на нашем спектрометре линий. Например, типовой случай изображен на рис. 5 и рис. 6. После расстановки 4 реперов на линиях с известной длиной волны (рис. 5) и проведения процедуры калибровки (полиномом третьей степени), центр тяжести «пятой» линии имеет длину волны 887.611 нм (см. рис. 6). В справочнике [8] имеется три близких значения длины волны: 887.5948, 887.6082 и 887.616 нм. Интенсивности спектральных линий нам неизвестны. На рис. 7 изображен участок спек-

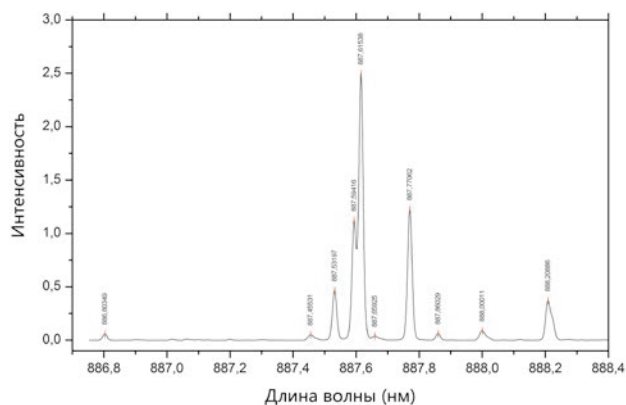


Рис. 7. Участок спектра ДВС-25 в диапазоне 886.7-888.4 нм, полученный на Фурье-спектрометре

Fig. 7. DVS-25 spectrum region in the range of 886.7-888.4 nm obtained with the Fourier-spectrometer

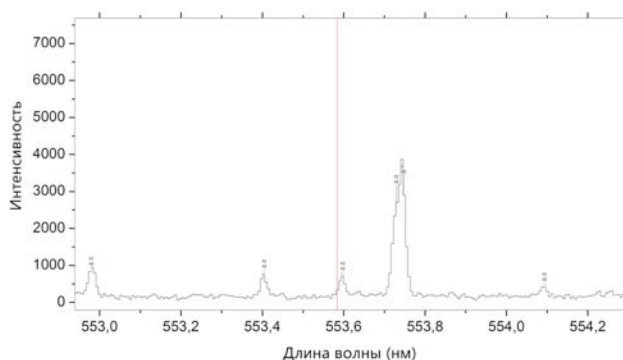


Рис. 8. Участок спектра ДВС-25 в диапазоне 552.9-554.3 нм с неразрешенными линиями H_2 (553.729 нм) и H (553.747 нм)

Fig. 8. DVS-25 spectrum region in the range of 552.9-554.3 nm and unresolved lines of H_2 (553.729 nm) and H (553.747 nm)

тра ДВС-25, зарегистрированный на Фурье-спектрометре¹, где разрешены линии 887.5942 и 887.615 нм (Линия 887.6082 нм не видна: ее разрешить не удалось. Скорее всего, ее интенсивность мала по сравнению с линией 887.616 нм). Центру тяжести «суммарной» линии наиболее близка линия из справочника 887.616 нм. Мы внесли в «окончательную базу линий» H_2 , все три линии (это не отражено на рис. 5 и рис. 6) и, очевидно, что при калибровке шкалы спектрометров с дисперсией 0.6-1.0 нм/мм не следует пользоваться такими линиями. При калибровке спектрографом с дисперсией (0.1-0.4) нм/мм можно пользоваться одной из этих линий, если эти линии разрешены. Измерения спектра ДВС-25 на Фурье-спектрометре были проведены с целью уточнить такого рода «конфликтные» ситуации при составлении базы линий, при проверке значений, вносимых из справочника [8] данных в базу линий,

1 Спектр ДВС-25 получен К. Н. Болдыревым (Институт спектроскопии РАН) на Фурье-спектрометре высокого разрешения IFS 125HR фирмы Bruker

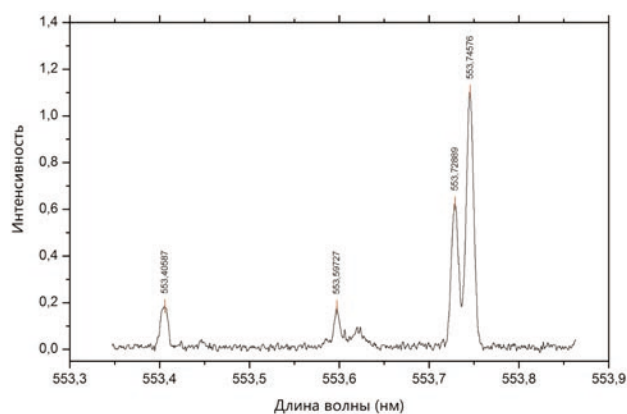


Рис. 9. Участок спектра ДВС-25 в диапазоне 553.3-553.9, полученный на Фурье-спектрометре, с разрешенными линиями H_2 (553.729 нм) и H (553.747 нм)

Fig. 9. DVS-25 spectrum region in the range of 553.3-553.9 nm and resolved lines of H_2 (553.729 nm) and H (553.747 nm) obtained with the Fourier-spectrometer

и «возможной» регистрации линий, не вошедших в справочник [8].

Следует отметить, что в разработанном нами атласе спектров ДВС-25 на диапазон 320-1100 нм существует порядка двух сотен линий, где на одну линию в спектре ДВС-25, полученном на спектрографе ПГС-2, приходится более чем одна метка линий H и H_2 . На рис. 8 приведена такая линия с метками H_2 553.729 нм и H 553.747 нм. На Фурье-спектре (см. рис. 9) эти две линии разрешены.

Заключение

Создан атлас спектра лампы ДВС-25 в диапазоне 320-1100 нм. В базу спектральных линий для диапазона 320-1080 нм внесено 2962 линий H и H_2 . Полученный атлас может быть легко использован для калибровки спектральной шкалы с другими значениями дисперсий спектрографов. Отметим, что большое число линий ДВС-25 позволяют, при использовании мини-спектрометров [3] со средней дисперсией (2.0-3.0 нм/мм), измерять длину волны лазерных диодов с точностью не хуже 0.001 нм при калибровке участка шкалы спектра с помощью излучения лампы ДВС-25, и используя методику, изложенную в [9] и в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блок питания «Квант-ДВС-25»: Паспорт. Руководство по эксплуатации. НПО учебной техники «Туланауцприбор». 2008. 7 с.
2. Спектроскопическое измерение спина протона / В.Д. Дмитриева [и др.] // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2014. Т. 9, вып. 1. С. 95-104.
3. Системы регистрации спектров, миниспектрометры и эмиссионные спектрометры / Э.Г. Силькис [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Вып. 33. Екатеринбург: УрФУ, 2014. С. 43-67.
4. Шахатов В.А., Лебедев Ю.А. Диагностика возбужденных частиц в водородной плазме (обзор). Часть I. Спектральный состав излучения, электронные состояния и

излучательные характеристики частиц плазмы // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2, № 6. С. 571-594.

5. Новые возможности атомно-эмиссионной спектроскопии для определения трудновозбудимых элементов / Е.Н. Савинова [и др.] // Ж. аналитической химии. 2015, Т. 70, № 5. С. 502-509

6. Таблицы спектральных линий / А.Н. Зайдель [и др.]. М.: Наука, 1969. 782 с.

7. Стриганов А.Р., Свентицкий Н.С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М.: Атомиздат, 1966, 893 с.

8. Crosswhite H.M.. The hydrogen molecule wavelength tables of Gerhard Heinrich Dieke. Wiley Interscience, A Division of John Wiley & Sons, Inc, 1972. 395 p.

9. Силькис Э.Г., Станкевич А.С. Точность определения длины волны в спектрографах с помощью излучателя на лампе с полым катодом // Тез. докл. XIX научно-техн. Конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М., 2013, С. 118-122.

REFERENCES

1. Blok pitaniia "Kvant-DVS-25": Pasport. Rukovodstvo po ekspluatatsii [Power supply "Quantum-DIC-25: Passport. Manual]. NPO uchebnoi tekhniki "Tulanauchpribor"2008, 7 p. (In Russian).

2. Dmitrieva V.D, Dubov D.Yu., Kazirickaya O.N., Kyrilko S.S., Meshkov O.I., Spichin R.I. [Spectroscopic measurement of the proton spin]. *Vestnik NGU. Seriya: Fizika* [Vestnik NGU. Series: Physics], 2014, vol. 9, no. 1, pp. 95-104 (In Russian).

3. Silkis E.G., Stankevich A.S., Krashenninikov V.N. [System registration spectra, minispectrometers and emission spec-

trometers]. *Problemy spektroskopii i spektrometrii* [Problems of spectroscopy and spectrometry], 2014, no. 33, pp. 43-67 (In Russian).

4. Shakhmatov V.A. and Lebedev Yu.A. Diagnostics of excited particle in hydrogen plasma (a review). Part I. Spectral composition, excited states and radiative characteristics of plasma particles. *Uspekhi prikladnoi fiziki* [Advances in Applied Physics], 2014, vol. 2, no. 6, pp. 571-594 (In Russian).

5. Savinova E.N., Sukach Ju.S., Kolesov G.M., Tjurin D.A. New possibilities of atomic emission spectrometry for the determination of elements with high excitation energies. *J. of Analytical Chemistry*, 2015, vol. 70, no. 5, pp. 578-585. DOI: 10.1134/S1061934815030181

6. Zaidel' A.N., Prokof'ev V.K., Raiskii S.M., Slavnyi V.A., Shreider E.Ja. *Tablitsy spektral'nykh linii* [Tables of Spectral Lines], Moscow, Izdatel'stvo "Nauka", 1969. 782 p. (In Russian).

7. Striganov A.R., Sventickii N.S. *Tablitsy spektral'nykh linii neutral'nykh i ionizovannykh atomov* [Tables of spectral lines of neutral and ionized atoms], Moscow, Atomizdat, 1966, 893 p. (In Russian).

8. Crosswhite H.M. *The hydrogen molecule wavelength tables of Gerhard Heinrich Dieke*. Wiley Interscience, A Division of John Wiley & Sons, Inc, 1972. 395 p.

9. Sil'kis Je.G., Stankevich A.S. [The accuracy of the wavelength spectrographs using emitter on a lamp with a hollow cathode]. *Tez. dokl. XIX nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Fotometriia i ee metrologicheskoe obespechenie»* [Abstracts XIX Scientific-Technical Conference "Photometry and its metrological assurance"], Moscow, 2013, pp. 118-122 (In Russian).